

$$V_{CO} = (1200/1000 \cdot 28/12/1,145 \cdot 100 - 3000/1000 \cdot 28/12/1,145 \cdot 100) = 244,5 - 611,4 \text{ нм}^3/\text{ч}.$$

б) Натекание воздуха при откачке (75–150 кг/ч) $V_v = (75/1,21 - 150/1,21) = 62 - 124 \text{ нм}^3/\text{ч}.$

УДК 621.521

Особенности вакуумных систем устройств сканирующей электронной микроскопии

Корнеев С. В., к.т.н., доцент

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация:

Рассматриваются вакуумные системы современных устройств сканирующей электронной микроскопии и особенности их построения для реализации дополнительных функций, расширяющих диапазон проводимых исследований.

Устройства сканирующей электронной микроскопии состоят из следующих основных элементов: источника электронов, системы электронных линз, камеры с образцом и различных детекторов. Изображение в сканирующих электронных микроскопах формируется путем сканирования поверхности сфокусированным пучком электронов и фиксации сигналов, содержащих информацию о форме поверхности и составе образца. На пути электронного пучка из источника электронов к образцу не должно быть посторонних примесей в виде молекул газов, поэтому в устройствах электронной микроскопии создают и поддерживают вакуум, требования к которому несколько различаются в зависимости от вида микроскопа и проводимых на нем исследований.

Изображение сканирующего электронного микроскопа представлено на рис. 1.

Современные микроскопы в зоне источника электронов должны обеспечивать сверхвысокий вакуум на уровне менее 10^{-9} мбар.

Для получения сверхвысокого вакуума вакуумная система должна оснащаться электрофизическим насосом (например, ионно-

геттерным насосом, высоковакуумным насосом (например, турбомолекулярным насосом или диффузионным) и механическим насосом предварительного вакуума.



Рис. 1 Сканирующий электронный микроскоп

Наиболее простая схема вакуумной системы сканирующих микроскопов без режима переменного давления представлена на рис. 2.

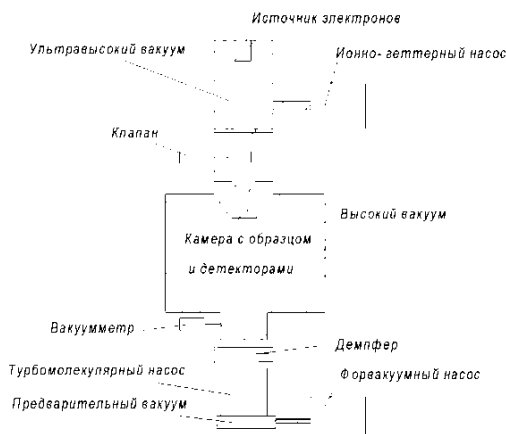


Рис. 2 Схема вакуумной системы сканирующего микроскопа

Таким образом в зоне источника электронов и электромагнитных линз с помощью ионно-геттерного насоса поддерживается сверхвысокий вакуум, в зоне камеры для образца посредством турбомолекулярного насоса поддерживается высокий вакуум ($10^{-6} - 10^{-7}$ мбар).

Для предотвращения передачи вибраций от насоса к камере образца, между ними установлен специальный демпфер.

Форвакуумный насос напрямую подсоединен к турбомолекулярному насосу также с использованием виброгасителя.

При запуске системы, насос предварительного вакуума создает вакуум перед входом турбомолекулярного насоса. По мере увеличения скорости вращения турбомолекулярного насоса величина вакуума увеличивается и при достижении давления менее 10^{-4} мбар клапан, отделяющий в колонне камеру для образца и зону пушки, открывается и теперь может быть включено ускоряющее напряжение. Ионно-геттерный насос постоянно работает в зоне расположения пушки. Разделительный клапан автоматически закрывается при напуске воздуха и отделяет пушку от остальной части системы.

При вакууме величины $2 \cdot 10^{-8}$ мбар, нить накала автоматически (аварийно) отключается.

Вакуумная система с опцией переменного давления VP.

Режим VP (переменное давление) позволяет исследовать образцы, выделяющие много газа, влажные образцы, а также непроводящие образцы без предварительной их специальной подготовки.

Это обеспечивается при использовании дифференциальной системы откачки, которая позволяет создать парциальное давление величиной 1 – 133 Па в камере для образца, при этом поддерживая высокий вакуум или сверхвысокий вакуум в зоне расположения пушки и на пути прохождения луча.

Непроводящие ток образцы при воздействии отрицательно заряженных электронов получают заряд, поэтому остаточная газовая атмосфера в камере для образца создает зону взаимодействия электронов и молекул остаточного газа. В этой зоне электроны первичного пучка, имеющие высокую энергию, сталкиваются с молекулами остаточного газа и их ионизируют. Образовавшиеся ионы участвуют в компенсации отрицательного заряда образца.

Система сканирующего электронного микроскопа с опцией VP представлена на рис. 3. В систему включен второй ионно-геттерный насос. Также в систему добавлены обводная линия для откачки

электронной оптики турбомолекулярным насосом и обводная линия для откачки камеры форвакуумным насосом. В камеру также добавляется газопускной патрубок с клапаном, управляемым автоматически. Камера в свою очередь отделяется от турбомолекулярного насоса затвором.

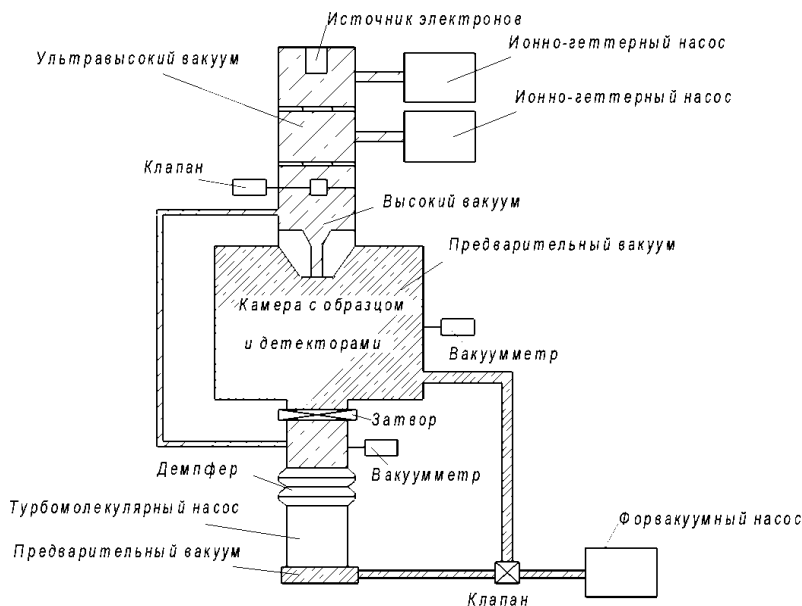


Рис. 3 Схема вакуумной системы электронного микроскопа с режимом переменного давления

Камера для образца таким образом может быть отделена от турбомолекулярного насоса и откачивается только форвакуумным насосом. Нижняя часть электронной оптики остается связанной с турбомолекулярным насосом обводной линией. Эта линия несколько ограничивает давление у диафрагм и электромагнитных линз, поэтому второй ионно-геттерный насос обеспечивает в зоне пушки сверхвысокий вакуум.

Повышенное давление в камере обеспечивается достаточно быстро (несколько секунд) напуском воздуха в камеру при включении игольчатого клапана, а более низкое давление требует

некоторого времени (до 1 минуты) так как требуется откачка камеры форвакуумным насосом.

Переход из режима переменного давления в режим высокого вакуума в камере требует закрытия клапана, разделяющего камеру и электронную оптику, и пушку во избежание ее повреждения, а также закрытия обводной линии от форвакуумного насоса к камере. После открытия затвора и откачки камеры до высокого вакуума разделительный клапан автоматически открывается и можно включать ускоряющее напряжение.

Тип и производительность вакуумных насосов как правило выбираются в зависимости от необходимого давления в разных зонах микроскопа и времени готовности, однако при значительных простоях оборудования в реальных условиях может требоваться большее время вакуумирования.

Сканирующие электронные микроскопы с режимом переменного давления при некотором усложнении конструкции позволяют существенно расширить область применения сканирующей электронной микроскопии, так как требуют минимальной подготовки для большого количества реальных образцов.

УДК 62

Высокоскоростной воздушный поезд

Анисеня А. В., студент,

Картынный И. В., студент

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: к. т. н., доцент Комаровская В. М.

Аннотация:

В данной статье рассказывается о вакуумной поездке Hyperloop.

Первым человеком, вдохновленным идеей пневматического транспорта, считается английский инженер Джордж Мэдхерст. В соответствии с данной идеей поезд должен был двигаться за счет энергии сжатого воздуха, который нагнетается в трубу, имеющую разрез в верхней части по всей ее длине. В трубе монтируется поршень,